Scanner coronaire. Intérêt de la détection des calcifications coronaires et des sténoses coronaires

M. Levy

Le scanner cardiaque est une technique d'imagerie récente qui évolue rapidement sur le plan technologique et qui permet de quantifier les plaques calcifiées et de visualiser les artères coronaires de façon non invasive. Le score calcique est une mesure scanner indirecte de l'étendue de la plaque athéroscléreuse dans les coronaires. Les études histologiques prouvent que les calcifications visibles ne représentent que 20 % de l'étendue de la plaque athéromateuse. Le risque d'événements coronariens est tellement faible chez le sujet à score calcique nul (ce qui n'élimine pas une plaque non calcifiée) qu'il est inconcevable de faire des examens invasifs de façon prospective. Ce score calcique déterminé par un scanner sans injection est très peu spécifique de sténose significative mais il est un marqueur de la maladie coronaire. Un score calcique nul rend infiniment peu probable une sténose coronaire. Le scanner coronaire avec injection d'iode permet la détection des plaques peu denses pouvant être en rapport avec des plaques lipidiques dont on sait le risque de rupture, mais on ne peut les distinguer des plaques fibreuses. Le scanner coronaire est un examen significativement irradiant qui surestime les sténoses coronaires et qui n'a pas d'indication dans les prévalences faibles ou fortes de maladie coronaire. Sa valeur prédictive négative est très bonne et sa valeur prédictive positive est faible, surtout en cas de calcifications importantes. L'imagerie scanner de la sténose est loin de la qualité obtenue avec la coronarographie. Il peut être indiqué en cas de prévalence moyenne chez un sujet symptomatique après évaluation des facteurs de risque et/ou test non invasifs équivoques. Un scanner coronaire anormal ne signifie pas qu'il y ait une ischémie, cette dernière étant le témoin d'une sténose hémodynamiquement significative alors qu'une plaque calcifiée ou non est le plus souvent non sténosante. Il est maintenant démontré que le score calcique, réalisé donc sans injection d'iode, est peu irradiant et est un examen qui donne des informations sur la survenue d'événements (décès et infarctus), indépendants des autres facteurs de risque. Il y aurait une relation linéaire entre risque et score calcique. Associé à une ischémie à la scintigraphie ou au positon emission tomography *(PET), il aurait une valeur ajoutée, rendant ces deux examens complémentaires. L'examen n'est cependant pas indiqué de façon systématique en cas de faible ou forte prévalence. Il n'implique pas de faire d'autres examens chez le sujet asymptomatique s'il est élevé mais simplement de renforcer le traitement médical.*

© 2010 *Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.*

Mots clés : Scanner coronaire ; Score calcique ; Plaque athéroscléreuse ; Plaque non calcifiée

Plan

- **Introduction** 1
- **Comment quantifier les calcifications coronaires** 2
- **Score calcique et diagnostic de sténose coronaire significative** 2
- **Détection de la plaque** 3
- **Scanner coronaire et coronarographie** 4
- **Score calcique et pronostic** 7
- **Irradiation et scanner** 8
- **Conclusion** 8

Introduction

Le scanner cardiaque est une technique récente qui connaît un développement très important du fait de sa capacité à visualiser les artères coronaires après injection de produit de contraste par voie intraveineuse. Les premiers scanners sans injection au début des années 1990 ne concernaient que des plaques calcifiées, permettant de visualiser l'importance de la maladie athéroscléreuse. De nombreuses études ont alors cherché à quantifier les calcifications de façon à déterminer un pronostic d'événements cardiaques et l'existence de lésions coronaires obstructives. Puis la technique évoluant, les acquisitions de l'image cardiaque sont devenues de plus en plus rapides (scanner quatre puis 16 puis 64 barrettes) permettant de voir les artères coronaires et de détecter d'éventuelles sténoses, et des plaques non calcifiées. Sténoses, calcifications, plaques non calcifiées sont les paramètres diagnostique et pronostique accessibles par cette nouvelle méthode d'imagerie dont il faut

© 2013 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés. - Document téléchargé le 16/11/2013 par UNIVERSITE VICTOR SEGALEN BORDEAUX (14200)

essayer de déterminer la place par rapport à la coronarographie et les techniques non invasives comme la scintigraphie et l'échographie de stress.

■ Comment quantifier les calcifications coronaires

Le score calcique est un paramètre représentatif de la quantité de calcification se trouvant sur le réseau coronaire. Il est mesuré en unités Hounsfield (HU) qui est une évaluation de l'atténuation des rayons X traversant une structure, en donnant la valeur de référence zéro à l'eau. Si la densité du corps est inférieure à celle de l'eau, le nombre HU est négatif (-1 000 par exemple pour l'air) ; a contrario, le nombre HU est supérieur à 1. Le score calcique par convention va correspondre aux structures atténuant les rayons X au-delà de 130 HU et ayant une surface correspondant au minimum à 3 pixels adjacents (1 mm^2) [1]. Il est mesuré sur l'ensemble des artères coronaires après une acquisition scanner faite sans injection d'iode et relativement peu irradiante (2 mSv). Il peut être évalué artère par artère mais les études font référence au score global. Il a une bonne reproductibilité et il est déterminé automatiquement. Il augmente avec l'âge, notamment chez l'homme au-delà de 50 ans et la femme après 60 ans. Hoff, sur 35 246 adultes asymptomatiques [2], retrouve chez l'homme de moins de 40 ans un score calcique moyen de 12 et chez la femme de 2 ; entre 50 et 54 ans, ces scores sont respectivement de 121 et 29 ; entre 65 et 69 ans, ils deviennent 464 et 147, et enfin au-delà de 74 ans, 836 et 258. La connaissance de ces valeurs peut être utile pour mieux prescrire les scanners coronaires.

Les calcifications coronaires sont intimement liées à la plaque athéroscléreuse.

Les travaux de Rumberger [3] sur 13 cœurs autopsiés montrent que la quantité de calcium détectée par le scanner est corrélée à l'étendue de la plaque athéromateuse. Sur 38 artères coronaires analysées, la surface calcifiée moyenne par artère est de 7,9 ± 3 mm^2 et la surface athéromateuse est de 45,5 ± 57,4 mm^2. La surface calcique, donc visible au scanner, ne représente que 20 % de la plaque. Un score calcique de zéro ne correspond donc pas nécessairement à l'absence de plaque [4].

La même équipe [5] montre que sur 732 segments coronaires, il n'y a pas de corrélation entre sténose histologique et surface calcique. Ceci serait dû à un phénomène de remodelage de l'artère coronaire. Ce résultat avait déjà été signalé dès 1987 par Glagov [6] sur le tronc commun de 136 cœurs autopsiés. La lésion entraîne un élargissement de l'artère maintenant une section quasi normale, la plaque devant occuper au moins 40 % de la limitante élastique interne pour commencer à être sténosante. La meilleure corrélation entre sténose et calcification importante peut s'expliquer par le fait que la paroi artérielle devient moins élastique, donc moins déformable. Cette analyse histologique éclaire le fait que la majorité des infarctus survient sur des sténoses dites non significatives [7].

Au total, le score calcique est une mesure scanner indirecte de l'étendue de la plaque athéroscléreuse dans les coronaires. Les études histologiques prouvent que les calcifications visibles ne représentent que 20 % de l'étendue de la plaque athéromateuse (Fig. 1, 2).

■ Score calcique et diagnostic de sténose coronaire significative

L'existence donc de calcium sur le réseau coronaire est spécifique de maladie coronaire mais elle est loin d'être associée systématiquement à une sténose coronaire.

Les études portant sur des patients symptomatiques ayant score calcique et coronarographie conventionnelle retrouvent une bonne sensibilité mais une mauvaise spécificité. Sur une méta-analyse regroupant 16 publications entre 1989 et 1998, 3 683 patients, la sensibilité moyenne est de 91,8 % et la spécificité de 55 % [8].

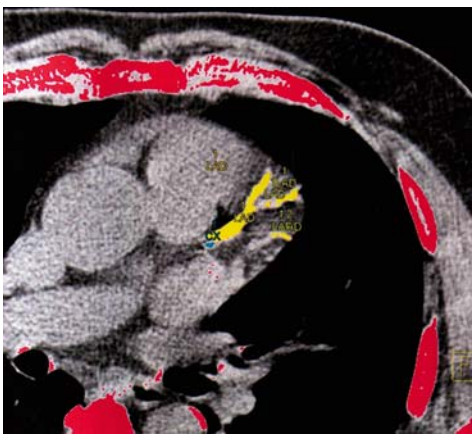

Figure 1. Calcifications importantes sur le réseau gauche. Examen fait sans injection. LAD : artère coronaire gauche antérieure descendante ; CX : circonflexe.

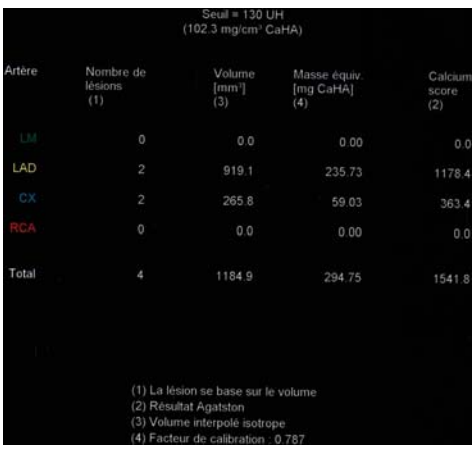
Seuil = 130 UH
(102.3 mg/cm³ CaHA)
Artère
Nombre de lésions (1)
Volume [mm³] (3)
Masse équiv. [mg CaHA] (4)
Calcium score (2)
LM 0 0.0 0.00 0.0
LAD 2 919.1 235.73 1178.4
CX 2 265.8 59.03 363.4
RCA 0 0.0 0.00 0.0
Total 4 1184.9 294.75 1541.8
(1) La lésion se base sur le volume
(2) Résultat Agatston
(3) Volume interpolé isotrope
(4) Facteur de calibration : 0.787

Figure 2. Mesure du score calcique sur les calcifications représentées Figure 1. LAD : artère coronaire gauche antérieure descendante ; CX : circonflexe ; RCA : artère coronaire droite ; LM : tronc commun.

Le score calcique n'est cependant pas explicité. Il était supérieur à zéro chez 65,8 % des patients mais l'existence de sténose coronaire est d'autant plus fréquente qu'il est élevé.

Un travail plus récent portant sur 1 851 patients [9] retrouve :

- un score calcique moyen de 380 et médian de 116 ;
- une sensibilité globale de 96 % et une spécificité de 40 % ;
- si on prend des scores calciques successivement supérieurs à 20, 80 et 100, la sensibilité de prédiction d'une sténose passe de 90 % à 79 % puis 76 % et la spécificité est de 58 % puis 72 % et 75 % ;
- chez les 983 patients ayant une sténose significative, le score calcique moyen est de 1 008 et chez les autres, il est de 123.

Un autre travail porte [10] sur 1 764 patients consécutifs ; 1 224 hommes et 539 femmes. Une douleur compatible avec un angor est retrouvée chez 65 % d'entre eux et 52 % ont une épreuve d'effort anormale. La coronarographie est anormale chez 56 % des hommes et 47 % des femmes. En l'absence de sténose significative, le score calcique est de 123 ± 289 chez les hommes (n = 540) et de 49 ± 121 chez les femmes (n = 284). En cas de sténose significative, il est de 706 ± 1 047 chez les hommes (n = 685) et de 360 ± 665 chez les femmes (n = 255).

Mais le score calcique est dépendant de l'âge. Ainsi, chez l'homme de 50-60 ans sans sténose il est de 115 ± 345 et chez la femme, de 45 ± 126, alors que chez le sujet de moins de 40 ans, ces chiffres sont de 4 ± 8 et 5 ± 11. En revanche, chez l'homme coronarien de 50-60 ans, on passe à 620 ± 910 et chez la femme à 222 ± 374, alors que chez le sujet de moins de 40 ans, il est respectivement de 122 ± 184 et 108 ± 162.

© 2013 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés. - Document téléchargé le 16/11/2013 par UNIVERSITE VICTOR SEGALEN BORDEAUX (14200)

Cette étude montre que chez des patients symptomatiques, l'absence de calcium est corrélée à un faible risque (< 1 %) de sténose coronaire significative.

Knez [11] a étudié 2 115 patients non coronariens connus et a retrouvé un score calcique différent de zéro chez 99 % d'entre ceux porteurs d'une sténose significative. La sensibilité est de 99 % et la spécificité de 25 % pour la prédiction d'une coronaropathie obstructive. Si on prend comme seuil un score supérieur à 100, la sensibilité tombe à 87 % et la spécificité monte à 79 %.

Dans cette série, sept hommes et une femme ont un score nul avec sténose significative et sept d'entre eux sont âgés de moins de 45 ans.

Toutes ces études qui portent sur 7 600 patients symptomatiques ayant une coronarographie permettent au clinicien d'avoir une bonne confiance dans la validité de ce test. Un score calcique nul a une valeur prédictive négative de 96 % à 100 % d'éliminer une sténose coronaire et un score calcique inférieur à 100 est associé à une probabilité inférieure à 1 % d'avoir une sténose coronaire supérieure à 50 % [12].

“ *À retenir*

Au total, le score calcique déterminé par un scanner sans injection est très peu spécifique de sténose significative mais il est un marqueur de la maladie coronaire. Un score calcique nul rend infiniment peu probable une sténose coronaire. Comme pour tous les marqueurs, il est alors important de relier son existence au pronostic du patient, et de le comparer éventuellement aux autres marqueurs.

■ Détection de la plaque

L'étude rétrospective d'Ambrose parue en 1988 [7] analyse la progression de la maladie athéromateuse entre deux coronarographies. Entre les deux procédures, sur 38 patients, 22 présentent un infarctus et 15 une occlusion d'une ou plusieurs artères coronaires. Ceux avec infarctus ont une sténose coronaire moins serrée que ceux avec occlusion, faisant suggérer que l'infarctus survient sur une sténose coronaire non significative.

L'occlusion brutale de l'artère est souvent due à la rupture d'une plaque mettant à nu le cœur lipidique, conduisant à la formation d'un thrombus et il est bien établi que point n'est besoin que la plaque soit sténosante.

Schématiquement, il y a des plaques calcifiées, non calcifiées, riches en lipides, et fibreuses. Les plaques dites « vulnérables » sont celles riches en lipides et en cellules inflammatoires recouvertes d'une très fine cape fibreuse ne faisant qu'une soixantaine de micromètres d'épaisseur, donc en dessous de la résolution scanner. Le problème est de distinguer plaque fibreuse de plaque lipidique. Le scanner coronaire avec injection permet de visualiser et de localiser sur la coronaire des plaques hypodenses peu ou non calcifiées et de les comparer à l'échographie endocoronaire qui est la technique de référence.

Un des premiers travaux paru en 2001 [13] porte sur 15 patients avec angor stable et sténose supérieure à 70 %. La plaque molle à l'échographie est celle dont plus de 80 % de la surface est constituée de tissu dont l'échogénicité est inférieure à celle de l'adventice. La plaque intermédiaire a la même échogénicité que l'adventice mais sans ombre acoustique et la plaque calcifiée est celle qui présente une ombre acoustique. À l'échographie, 12 plaques sont considérées comme molles, cinq comme intermédiaires et 17 comme calcifiées. Au scanner (quatre barrettes), les plaques molles ont une densité moyenne de 14 ± 26 HU, les intermédiaires de 91 ± 21 HU et les calcifiées de 419 ± 194 HU. Ces valeurs sont cohérentes avec les travaux faits sur la carotide qui sont, du fait du diamètre de cette artère et de son immobilité, plus faciles à réaliser.

Un autre travail est paru en 2004 [14]. L'échographie détecte la présence de plaques sur 50/83 artères coronaires étudiées ; 31 plaques sont mixtes, quatre sont exclusivement calcifiées et 15 exclusivement non calcifiées. Le scanner (16 barrettes) a une sensibilité et une spécificité de 94 % pour les plaques calcifiées mais il ne détecte que 53 % des plaques non calcifiées. Le volume de la plaque est systématiquement sous-évalué.

Leber, en 2004 [15], avec un scanner 16 barrettes sur 37 patients, retrouve pour les plaques molles une sensibilité de 78 %, pour les plaques fibreuses (ou intermédiaires) 78 % de sensibilité et pour les plaques calcifiées 95 %. La spécificité pour l'ensemble est de 92 %. Les densités moyennes en HU sont : 49 ± 22 (intervalle 14 à 82) pour les plaques molles, 91 ± 22 (intervalle 35 à 125) pour les plaques fibreuses et 391 ± 156 (intervalle 162 à 820) pour les plaques calcifiées. La valeur des intervalles montre le chevauchement entre plaque molle et plaque fibreuse. Ce chevauchement pourrait s'expliquer par l'évolutivité de la plaque et il est donc logique qu'il y ait un mélange de tissu nécrotique, lipidique et de collagène.

Le même auteur en 2006 [16], sur 20 patients avec un scanner 64 barrettes, retrouve une meilleure sensibilité (83 %) que dans les études précédentes pour la détection des plaques non calcifiées, probablement du fait de la meilleure résolution du scanner.

Très récemment [17], on compare les plaques des patients présentant un syndrome coronarien aigu et un angor stable en utilisant un scanner 64 barrettes et l'échographie. La proportion de plaques non calcifiées et mixtes est plus importante dans l'angor instable. Ces plaques sont également observées au niveau des coronaires avec ou sans la lésion coupable (*culprit*).

Le scanner faisant donc la preuve de sa capacité à détecter les plaques puisqu'il est correctement corrélé à l'échographie endocoronaire, d'autres études sont alors pratiquées sans échographie, surtout depuis l'apparition du 64 barrettes.

Hausleiter [18] pratique un scanner coronaire avec injection chez 161 patients à risque intermédiaire, c'est-à-dire avec douleur thoracique, ou bien sans douleur mais test d'ischémie positif, ou bien ni test d'ischémie ni douleur thoracique mais trouble du rythme intermittent. Il s'avère alors que 61 % d'entre eux ont des plaques calcifiées. Chez les 39 % (63/161) sans calcification, six ont des plaques hypodenses avec une densité moyenne de 62 HU ; 23 patients présentant au total 40 plaques non calcifiées (ils peuvent par ailleurs avoir des plaques calcifiées) ont une coronarographie conventionnelle. La moitié de ces plaques correspond à des irrégularités avec une sténose quantifiée au maximum à 25 %. Pour neuf de ces plaques, la sténose est comprise entre 25 % et 50 %. Pour les 11 autres, la sténose est considérée comme serrée.

Henneman [19], chez 40 patients suspects de syndrome coronarien aigu ayant tous coronarographie et scanner 64 barrettes, retrouve 13 patients avec un score calcique à zéro ; 36 lésions ulcérées se trouvent sur une plaque non calcifiée ; cinq des 13 patients sans calcification ont une sténose serrée.

On vient donc de montrer, en nous référant à l'échographie endocoronaire, que le scanner coronaire avec injection d'iode permet la détection des plaques peu denses pouvant être en rapport avec des plaques lipidiques dont on sait le risque de rupture. Mais la technologie actuelle ne permet pas de les distinguer des plaques fibreuses, qui sont stables. Cette nouvelle technologie nous pose donc de nouvelles questions (Fig. 3).

La plaque non calcifiée détectée au scanner est donc un facteur de risque de syndrome coronarien aigu d'après ces différents auteurs. À qui faut-il alors faire un scanner coronaire dans le cadre d'un dépistage ?

L'étude de Knez [11], portant sur 2 115 patients symptomatiques non coronariens connus, retrouve des calcifications chez 99 % des porteurs d'une sténose coronaire ; huit patients ont un score calcique nul avec des sténoses à la coronarographie (0,7 %). On peut montrer que tenant compte des performances de l'examen, on aurait pu détecter huit patients de plus [20], soit 0,6 % de la population. Sur une autre étude, on peut montrer que la valeur prédictive positive est de 25 %. Budoff conclut donc que l'on ne peut pas faire d'examens invasifs sur une

© 2013 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés. - Document téléchargé le 16/11/2013 par UNIVERSITE VICTOR SEGALEN BORDEAUX (14200)

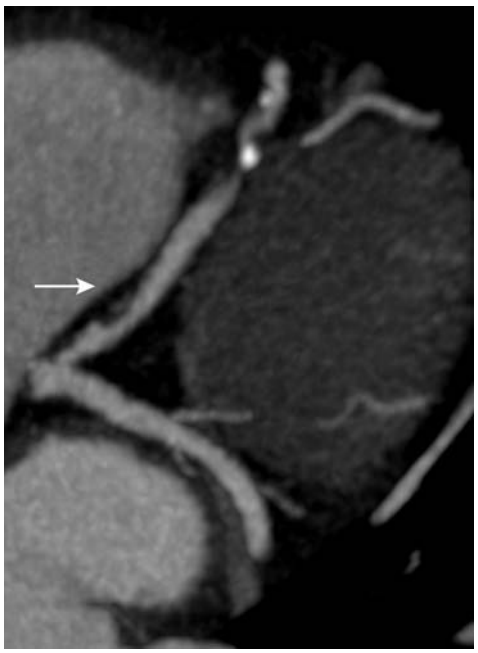

Figure 3. Plaque hypodense sur l'interventriculaire antérieure proximale (flèche) chez un patient ayant des coronaires très peu calcifiées.

population présentant une aussi faible prévalence (score calcique nul chez qui on recherche une plaque non calcifiée).

Taylor [21], sur une population de 2 000 personnes d'âge moyen de 43 ans suivie pendant 3 ans, retrouve, sur 1 263 d'entre eux ayant un score calcique nul, deux événements cardiaques (0,05 %/an).

Il faut cependant être méfiant chez les sujets jeunes : les huit sujets présentés dans l'étude de Knez ont moins de 45 ans (sept hommes et une femme). D'autre part, la détection de la plaque peut effectivement amener à traiter un sujet même asymptomatique, mais on a vu qu'il est difficile de différencier la plaque fibreuse de la plaque lipidique. Enfin, il y a une variabilité interopérateur et interscanner de la mesure de la densité. Il semble donc nécessaire de valider cette technique et de considérer pour le moment qu'un patient avec un score calcique nul est à très faible risque d'événements cardiaques et de sténose coronaire.

Le risque d'événements coronariens est tellement faible chez le sujet à score calcique nul (ce qui n'élimine pas une plaque non calcifiée) qu'il est inconcevable de faire des examens invasifs de façon prospective. Cependant, avec toutes les réserves qui s'imposent, retenons que le sujet jeune (moins de 50 ans) symptomatique ayant des facteurs de risque doit retenir toute l'attention du clinicien (Fig. 4, 5).

■ Scanner coronaire et coronarographie

La coronarographie est considérée comme le gold standard pour la détection radiologique d'une sténose de l'artère coronaire. La visualisation de l'artère coronaire dans son entier de l'ostium jusqu'à la distalité se fait après injection du produit de contraste de façon sélective. En ce qui concerne le scanner coronaire, la visualisation des artères coronaires se fait après injection intraveineuse du produit de contraste. Les images scanner sont acquises en 10 à 15 secondes, nécessitant donc une bonne coordination entre l'instant d'acquisition et l'arrivée du produit de contraste dans le réseau coronaire. L'artère coronaire est reconstruite dans son ensemble grâce à un logiciel qui va intégrer toutes les coupes scanner acquises pendant cette durée (Fig. 6). Ces deux techniques d'imagerie sont différentes et ont des performances différentes. La résolution temporelle pour la coronarographie est de 6 ms alors qu'elle est comprise entre 80 et 130 ms pour le scanner. La résolution spatiale est de

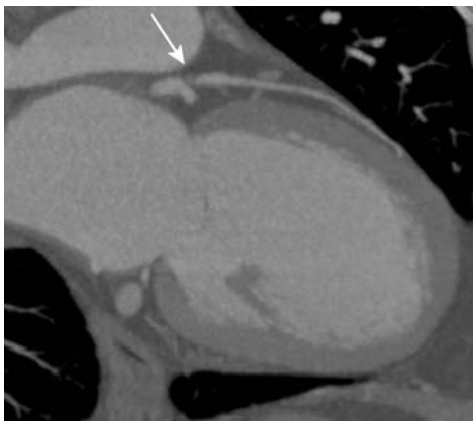

Figure 4. Sténose hyperserrée de l'interventriculaire antérieure (flèche) en coupe sagittale chez une patiente à score calcique nul.

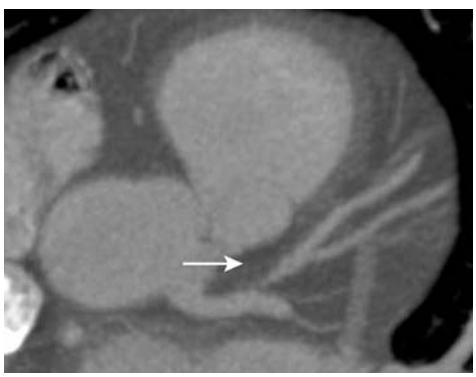

Figure 5. Sténose hyperserrée de l'interventriculaire antérieure (flèche) en coupe transversale chez une patiente à score calcique nul.

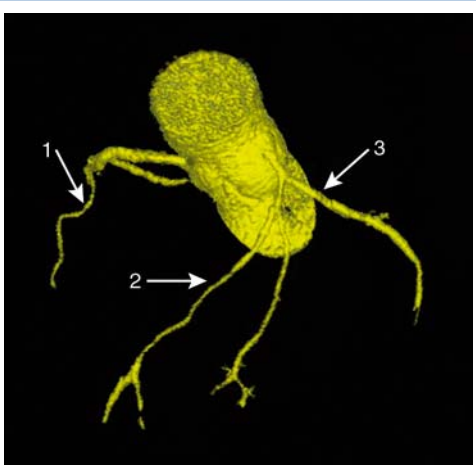

Figure 6. Image en trois dimensions du réseau coronaire. Ce type d'images permet de visualiser l'anatomie du réseau coronaire mais il n'est pas approprié à la détection d'une sténose. 1. Coronaire droite ; 2. interventriculaire antérieure ; 3. circonflexe.

0,25 mm pour la coronarographie contre 0,45 mm pour le scanner 64 barrettes et 0,7 mm pour le 16 barrettes. Du fait du mouvement cardiaque, le scanner coronaire donne des images pouvant présenter un flou cinétique.

L'objectif que se fixe le scanner est de supplanter la coronarographie dans un certain nombre d'indications diagnostiques.

La méthodologie est très importante dans ces études et peut faire varier sensibilité et spécificité.

Généralement, l'arbre coronaire est divisé en segments proximaux, moyens et distaux. On peut faire une comparaison

© 2013 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés. - Document téléchargé le 16/11/2013 par UNIVERSITE VICTOR SEGALEN BORDEAUX (14200)

coronarographie-scanner segment par segment, ou par artère coronaire, ou par patient. Dans ce dernier cas, le résultat est binaire, y a-t-il ou non une maladie coronaire ?

Le scanner coronaire ne permet pas de toujours visualiser tous les segments du fait d'un diamètre trop petit, de la distalité, du bougé ou de calcifications. Les segments peuvent être alors exclus de la comparaison ou a priori être considérés comme anormaux. Le résultat de la sensibilité et de la spécificité est donc modifié.

De très nombreuses études comparatives ont été publiées ces dernières années avec le scanner 16 barrettes d'abord puis, depuis 2006, avec le scanner 64 barrettes.

Une méta-analyse faite par Hamon [22] publiée en septembre 2006 porte sur 27 études sélectionnées à partir de 278 études publiées entre janvier 2002 et juillet 2006, 18 avec des scanners 16 barrettes, une avec un 32 barrettes, une avec un 40 barrettes et neuf avec des scanners 64 barrettes. Cela correspond à 1 616 patients, soit 22 798 segments, dont 4,2 % sont non analysables et 6,4 % sont classifiés à la discrétion des investigateurs.

La méta-analyse retrouve une sensibilité de 81 % par segment, de 82 % par artère et de 96 % par patient. La sensibilité est comprise entre 30 % et 99 % (par segment). La spécificité est respectivement de 93 %, de 91 % et de 74 %. La spécificité est comprise entre 65 % et 98 % (par segment). La valeur prédictive négative est de 96,5 % pour les segments et de 94 % pour les patients. Ce dernier résultat aurait un grand intérêt clinique puisqu'il exclurait de la coronarographie les patients normaux au scanner.

Beaucoup de critiques temporisent ces résultats :

- la très grande hétérogénéité statistique des résultats quel que soit le mode d'analyse par segment, artère ou patient ;
- il s'agit de patients hypersélectionnés et les résultats sont obtenus après exclusion de 4,2 % des segments et 6,4 % de mal étiquetés ;
- la forte prévalence de maladie coronaire (valeur médiane 65,3 %) peut expliquer les variations de sensibilité, de spécificité et de valeur prédictive négative lorsque l'on passe d'une analyse par segment à une analyse par patient. Les faux positifs essentiellement dus aux calcifications peuvent être anticipés et les vrais négatifs sont peu nombreux et non affectés lorsque l'on passe d'une analyse par patient à une analyse par segment.

Dans la pratique quotidienne, il est très probable que l'on considère les segments non interprétables comme anormaux de crainte de passer à côté de la maladie coronaire.

Malgré l'amélioration en sensibilité apportée par le scanner 64 barrettes, la nécessité d'avoir une fréquence aussi basse que possible, obligeant l'injection de bêtabloquants, et les problèmes dus à la respiration engagent le scanner à une grande évolutivité technique, pour éviter de ne recruter que des patients hautement sélectionnés.

L'irradiation, variant de 5,4 mSv à 16,3 mSv pour le 16 barrettes et de 10 mSv à 21,4 mSv pour le 64 barrettes contre 2 mSv à 5 mSv pour la coronarographie, est à prendre en compte. Beaucoup de travaux sont faits cependant sur ce plan pour diminuer l'irradiation. D'autre part, toutes ces études sont monocentriques sauf une [23] portant sur 187 patients symptomatiques. Après exclusion de 29 % des segments, la sensibilité est de 75 % et la spécificité de 77 %. Si on prend en compte tous les segments, la sensibilité monte à 98 % et la spécificité tombe à 54 %.

Trois études multicentriques très récentes sont parues avec le scanner 64 barrettes.

Miller [24] présente un travail fait avec neuf centres, recrutant 291 patients symptomatiques avec un score calcique inférieur à 600. Il faut remarquer que seuls les patients avec score calcique inférieur à 600 sont retenus, suggérant donc que les calcifications trop importantes sont une contrainte très limitante pour interpréter un scanner coronaire. La prévalence de maladie coronaire est de 56 %, la sensibilité de 85 %, la spécificité de 90 % et la valeur prédictive négative de 83 %. Les auteurs considèrent que ces valeurs ne permettent pas de considérer que le scanner puisse remplacer la coronarographie.

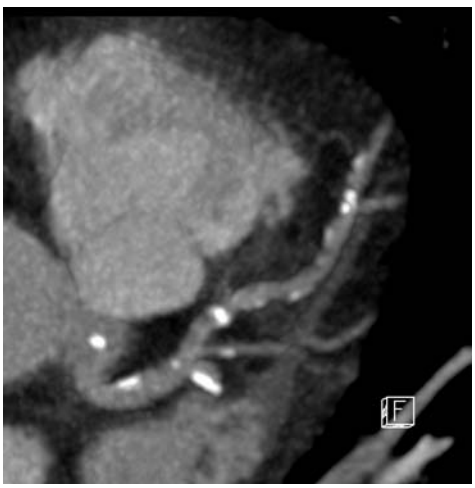

Figure 7. Calcifications sur le réseau gauche avec suspicion de sténose de l'interventriculaire antérieure ayant conduit à la coronarographie qui est normale.

Figure 8. Interventriculaire antérieure très calcifiée ne permettant pas de détecter une éventuelle sténose.

Meijboom [25] étudie 360 patients symptomatiques issus de trois centres avec une prévalence coronaire de 68 %. La sensibilité de détection de la maladie coronaire est de 99 % et la valeur prédictive négative de 97 % ; en revanche, la spécificité n'est que de 64 %. La valeur prédictive positive passe de 54 % à 38 % en fonction de l'importance du score calcique.

La sévérité de 59 sténoses est sous-estimée ou non détectée. La sévérité de 471 sténoses non significatives est surévaluée. Le scanner considère que 98 patients sont tritronculaires alors que ce n'est le cas que pour 19 d'entre eux, soit un taux de faux positifs de 81 %. Cette surévaluation n'est pas sans conséquence sur l'attitude clinique. La faible spécificité est due à la difficulté d'évaluer l'importance des lésions et à l'inclusion de tous les segments quelle que soit la qualité de l'image. Les auteurs concluent que le scanner permet d'éliminer une coronaropathie mais que la surestimation des lésions au scanner nécessite un complément d'information par des tests fonctionnels (Fig. 7, 8).

Une troisième étude multicentrique [26] sur 16 sites, prospective, concernant 230 patients avec douleur thoracique, sans maladie coronaire connue et avec une prévalence de maladie coronaire évaluée à 25 % (après les résultats de la coronarographie) retrouve :

- pour les sténoses inférieures à 50 %, une sensibilité de 94,7 %, une spécificité de 82,1 %, une valeur prédictive négative de 99,3 % et positive de 64,2 % ;
- pour les sténoses supérieures à 70 %, ces chiffres deviennent respectivement 93,8 %, 81,8 %, 98,8 % et 64,2 %.

© 2013 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés. - Document téléchargé le 16/11/2013 par UNIVERSITE VICTOR SEGALEN BORDEAUX (14200)

Il est intéressant de noter que là aussi ces résultats sont réévalués en fonction du score calcique. Suivant qu'il est inférieur ou supérieur à 400, la spécificité passe de 86,3 % à 52,6 %.

Les auteurs concluent en l'intérêt de la forte valeur prédictive négative et la bonne capacité de détecter des sténoses coronaires dans cette population à prévalence moyenne.

Il faut rappeler que le scanner coronaire avec injection est un examen anatomique comme la coronarographie. Il visualise éventuellement une sténose mais il ne dit pas quelle est son retentissement fonctionnel. Il nous replace sur ce plan 20 ans en arrière où seule comptait l'image visualisée à la coronarographie pour cautionner la thérapeutique. Depuis, la scintigraphie de perfusion et l'échographie de stress ont fait leur preuve dans la détection de l'ischémie et on sait que c'est cette dernière qui doit le plus souvent guider la thérapeutique. Il ne faudrait donc pas que la belle image nous renvoie au réflexe oculosténotique [27].

D'autre part, le scanner se promettait de diminuer le nombre d'indications de coronarographies, mais aucune étude ne va dans ce sens à ce jour.

Les recommandations [28] les plus récentes de 2008 sont :

- il n'y a pas d'indications à pratiquer un scanner coronaire chez un patient ne présentant ni signes ni symptômes en faveur d'une insuffisance coronaire ;
- la validation et l'application de ces méthodes ne sont pas connues en dehors des centres expérimentaux ;
- la réalisation d'un scanner coronaire peut être considérée comme raisonnable chez des patients symptomatiques à risque intermédiaire après stratification du risque incluant les patients avec des tests non invasifs équivoques (classe IIa niveau B) ;
- il n'est pas recommandé de faire un scanner coronaire chez un patient à forte ou faible prévalence.

Concernant le suivi des pontages aortocoronariens, certes le scanner est un bon examen pour détecter une éventuelle occlusion mais le plus souvent, on ne peut s'en contenter. Il faut fréquemment rechercher une sténose tant sur le pontage que sur les artères natives. Or, les clips d'une part et les calcifications d'autre part sont des facteurs rendant cette détection difficile (classe IIb, niveau C).

Pour les stents, les recommandations sont négatives (classe III niveau C) et il faudrait attendre les résultats des nouvelles études sur les scanners plus perfectionnés.

Enfin, concernant les anomalies coronaires congénitales, le scanner est un examen acceptable (classe IIa niveau C) mais fortement concurrencé par l'imagerie par résonance magnétique (IRM) qui est non irradiante (Fig. 9, 10).

Le scanner coronaire est un examen significativement irradiant qui surestime les sténoses coronaires et qui n'a pas d'indication dans les prévalences faibles ou fortes de maladie coronaire. Les études publiées sont essentiellement monocentriques et concernent des patients hypersélectionnés. Les résultats sont statistiquement très hétérogènes d'une étude à l'autre. En 2008 sont parues quelques études multicentriques qui retrouvent une forte valeur prédictive négative et font réfléchir sur la meilleure façon de poser les indications. La valeur prédictive positive est faible, surtout en cas de calcifications importantes. Rappelons que les calcifications augmentent vite après 50 ans chez l'homme et 60 ans chez la femme. L'imagerie scanner de la sténose est loin de la qualité obtenue avec la coronarographie. Chez les sujets à prévalence moyenne, la forte valeur prédictive négative est intéressante si le patient est symptomatique ou si les tests non invasifs sont douteux. Il peut être alors indiqué après stratification des facteurs de risque. Il y a donc une certaine logique à chercher au scanner une valeur pronostique, tant du fait de la localisation des sténoses et de leur nombre comme cela avait été fait pour la coronarographie, et chose nouvelle, que de la détection de plaques hypodenses non sténosantes.

Min [29] montre, sur 1 127 patients consécutifs avec un suivi de 15,3 ± 3,9 mois avec douleur thoracique, de nombreux

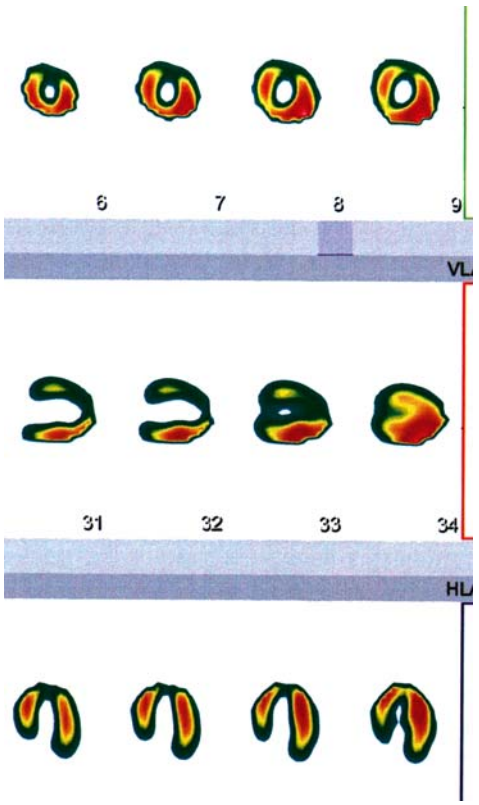

Figure 9. Scintigraphie avec defect antérieur et apical ayant conduit à la réalisation d'un scanner coronaire.

Figure 10. Anomalie congénitale : coronaire droite se jetant dans l'artère pulmonaire.

facteurs de prédictivité de décès : évaluation visuelle de la sévérité de la sténose, localisation proximale de la sténose spécialement sur l'interventriculaire antérieure, nombre de sténoses et score attestant de l'étendue des plaques. L'absence de plaques sur le tronc commun ou l'interventriculaire antérieure proximale est associée à une forte valeur prédictive négative (97,8 % à 98,4 %) de décès. L'absence totale de plaques a une valeur prédictive négative de 99,7 % avec une mortalité de 0,3 % à 15 mois contre 3,5 % de mortalité totale.

Sur un suivi plus long, 78 ± 12 mois, et une série de 2 538 patients symptomatiques, il y a 3,4 % de décès. La prédictivité serait supérieure à celle des facteurs de risque conventionnels, ou au score calcique seul. Les patients avec un score calcique nul et angioscanner normal ont un taux de survie de 99,2 % (un événement chez 403 patients) [30].

© 2013 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés. - Document téléchargé le 16/11/2013 par UNIVERSITE VICTOR SEGALEN BORDEAUX (14200)

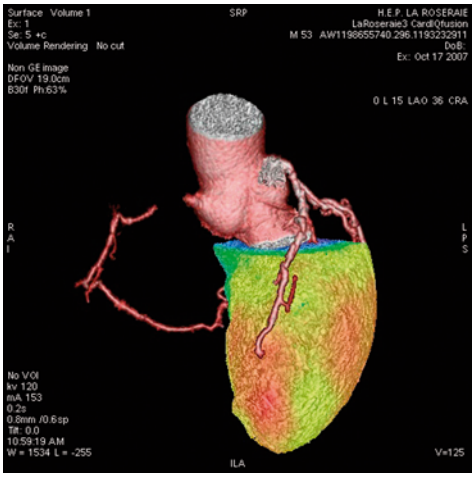

Figure 11. Image hybride superposant une scintigraphie et un scanner coronaire trois dimensions chez un patient présentant une occlusion de la coronaire droite.

L'intérêt pronostique de l'angioscanner est probablement dû à la détection des plaques. Par ailleurs, les techniques non invasives comme l'échographie de stress et la scintigraphie de perfusion ont supplanté la luminographie dans le pronostic en se référant à l'étendue de l'ischémie.

Qu'en est-il alors de la comparaison angioscanner et étude de la perfusion ? Comment peut-on relier plaques et sténoses coronaires au scanner avec ischémie et pronostic ?

Schuijf [31] a fait une comparaison de ces deux techniques sur 114 patients symptomatiques dont 58 vont avoir une coronarographie conventionnelle. Le scanner classe 41 patients comme normaux et 90 % de ceux-là ont une scintigraphie normale ; 33 patients ont une sténose non significative et 40 ont une ou plusieurs sténoses significatives ; 45 % des patients avec scanner anormal ont une scintigraphie anormale. Ainsi une scintigraphie normale n'exclut pas la présence de maladie coronaire obstructive ou non obstructive. Les auteurs concluent que scanner et scintigraphie apportent des informations complémentaires, à savoir ischémie et maladie athéromateuse. Il reste alors à savoir si la combinaison des deux tests apporte une information clinique complémentaire, dans quel ordre il faudrait la pratiquer et dans quel niveau de prévalence coronaire.

La technique dite « hybride » peut fusionner des images de scintigraphie et de scanner. Rispler [32] a étudié 56 patients bénéficiant de ces deux examens. Le scanner dans ce travail a de faibles spécificité et valeur prédictive positive pour la détection des sténoses hémodynamiquement significatives qui est améliorée par la combinaison avec la scintigraphie. La spécificité passe de 63 % à 95 % et la valeur prédictive positive de 31 % à 77 %. Mais cette technique n'est pas abordable actuellement en routine (Fig. 11).

Points forts

- Le scanner coronaire avec injection de produit de contraste a permis la détection de la plaque hypodense qui semble avoir un grand intérêt pronostique, qu'il faut encore évaluer.
- Un scanner coronaire anormal ne signifie pas qu'il y ait une ischémie.
- L'association scanner-scintigraphie pourrait apporter des informations complémentaires.

Score calcique et pronostic

Nous avons donc vu que le score calcique est un marqueur de la maladie athéroscléreuse mais qu'il n'est pas spécifique de l'existence d'une sténose coronaire et qu'il n'a aucune valeur localisatrice d'une éventuelle sténose. D'autre part, le scanner avec injection visualisant les artères coronaires a des indications difficiles à bien poser. Ceci étant, tout scanner coronaire avec injection devrait être précédé d'un score calcique qui a une valeur pronostique comme on le montre ci-dessous chez le patient asymptomatique et qui d'autre part permettra de ne pas injecter un patient à score calcique élevé. En effet dans ce cas, il y a de très grandes chances que les calcifications rendent l'examen des coronaires ininterprétable.

Le score calcique étant représentatif, indirectement, de l'étendue de la maladie athéromateuse comme l'ont montré les études histopathologiques, on peut penser qu'il puisse avoir une valeur pronostique.

Les travaux, dont certains remontent au début des années 1990, recherchent une corrélation entre score calcique et survenue d'événements coronariens. Le problème est de savoir s'il apporte plus que les marqueurs cliniques et s'il est recommandé de le faire de façon systématique. Un patient symptomatique avec des facteurs de risque fait le plus souvent l'objet d'une coronarographie alors que cela ne semble pas concevable a priori chez le sujet asymptomatique.

Dans un document de consensus édité en 2000 [8], le score calcique est présenté comme facteur de pronostic indépendant n'ayant pas fait la preuve de sa validité.

Depuis, la méthodologie est devenue plus rigoureuse et en 2007, dans un document de consensus, le score calcique semble plus significatif [12].

Actuellement sont prises en compte les études publiées depuis 2002, série de plus de 1 000 patients avec comme événements décès et infarctus, suivis sur 3 à 5 ans, possibilité d'ajuster le risque aux autres facteurs de risque traditionnels (sexe, âge, hypertension artérielle, cholestérol, etc.) ou au score de Framingham (FRS).

Sur six études publiées entre 2003 et 2006 représentant 27 622 patients, le consensus de 2007 [12] retrouve 395 infarctus ou décès d'origine cardiaque, avec un risque relatif de 4,3, quelle que soit la valeur du score calcique, versus un score calcique nul. Les patients avec un score calcique nul ont très peu d'événements (49 pour 11 815 sujets) soit 0,4 %. Il y a augmentation du risque avec le score calcique. Pour un score calcique compris entre 100 et 400, le risque relatif est de 4,4, pour ceux dont le score est compris entre 400 et 1 000, il est de 7,2, et de 10,8 si le score est supérieur à 1 000 (taux d'événements de 4,6 % et 7,1 % sur 3 à 5 ans).

Parmi cette série d'études, on peut citer la St Francis Heart Study [33] qui porte sur 4 613 sujets, la Copper Clinic Study [34] qui inclut 10 746 patients et où la valeur prédictive du score calcique est indépendante des facteurs de risque cardiovasculaires.

Cependant, Greenland [35] montre que les patients avec score calcique élevé sont à haut risque s'ils ont un FRS supérieur à 10 % mais pas si ce dernier est inférieur à 10 %.

Budoff [36] analyse 25 253 patients suivis pendant 6,8 ans ± 3 ans. La survie à 10 ans après ajustement pour l'âge et autres facteurs de risque est de 87,8 % pour un score calcique supérieur à 1 000 et de 99,4 % pour un score nul. Il y a une relation linéaire entre mortalité et score calcique et ce dernier apporte une information indépendante du FRS.

Enfin, il ne faut pas considérer qu'un patient à score calcique nul mais à haut risque du fait de ses facteurs de risque puisse être exclu d'un traitement médical.

Il semble qu'il soit recommandé de pratiquer un score calcique chez les patients asymptomatiques à risque intermédiaire pour affiner le pronostic et sélectionner les patients chez qui il faut renforcer le traitement hypolipémiant [37].

Dans le cas particulier du diabétique, en cas de score calcique nul, le pronostic est le même que celui d'un non-diabétique sur un suivi de 5 ans, mais pour chaque augmentation de ce score,

© 2013 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés. - Document téléchargé le 16/11/2013 par UNIVERSITE VICTOR SEGALEN BORDEAUX (14200)

le taux de survenue d'événements coronariens est plus important pour le diabétique [38, 39]. Étant donné que détecter les calcifications revient à affirmer l'existence d'une maladie athéromateuse, il est légitime de se demander si le traitement hypolipémiant est susceptible de faire régresser le volume des calcifications.

Les premières études étaient en faveur d'une corrélation positive entre baisse du *low density lipoprotein* (LDL) et score calcique, mais des séries plus importantes contredisent ce fait. La progression du score calcique est la même que le patient soit traité à dose forte ou normale d'atorvastatine (10 mg et 80 mg). Ceci peut éventuellement se comprendre, la calcification étant un stade de cicatrisation qui n'évolue pas mais il n'est pas dit que la plaque ne régresse pas ou ne soit pas stabilisée [40-43].

Le score calcique est donc un nouveau paramètre et un nouvel examen dans l'évaluation de la maladie coronaire. Comment se situe-t-il par rapport aux autres outils diagnostiques ?

Il n'y a pas d'études de comparaison permettant de dire si le score calcique peut se substituer à d'autres techniques non invasives mais de rares études évaluent dans quelle mesure il peut être complémentaire.

La scintigraphie de perfusion est reconnue comme un bon outil d'évaluation de l'ischémie et du pronostic. Sur une série de 1 153 patients [44] suivis pendant 32 mois (décès ou infarctus), l'importance du score calcique n'a pas d'influence sur le devenir s'il n'y a pas d'ischémie. Ainsi les patients avec score calcique supérieur à 1 000 et sans ischémie ont moins de 1 % d'événements par an. Ramakrishna retrouve, sur 853 patients et scintigraphie, une faible corrélation entre score calcique et ischémie et les deux facteurs seraient indépendamment associés au décès [45].

Un autre travail [46] recherche également la relation entre ischémie induite par le stress et score calcique en utilisant le PET-scan avec du rubidium qui est un excellent marqueur de perfusion. La corrélation entre ischémie et score calcique est modeste mais statistiquement significative, notamment chez ceux dont le score est supérieur à 400. Cependant, un score inférieur à 400 n'est pas un bon prédicteur de PET normale et l'absence de calcification n'a qu'une valeur prédictive négative de 84 % pour l'ischémie. La survenue d'événements chez les patients sans ischémie est nettement plus faible sans calcification qu'avec un score calcique supérieur à 1 000 (2,6 % et 12,3 %). Mais chez ceux ayant une ischémie à la PET, le taux annuel d'événements est beaucoup plus bas si le score est nul (8,2 %) que s'il est supérieur à 1 000 (22,1 %). Le score calcique donne donc une valeur ajoutée à la seule détection de l'ischémie et l'association des deux techniques pourrait améliorer l'évaluation du risque. Ceci est en contradiction avec l'étude précédente mais il est probable que les facteurs de risque ne soient pas les mêmes.

Sur le plan pratique, faisant référence au document de consensus [12] paru en janvier 2007, on peut considérer :

- qu'il est raisonnable de pratiquer un score calcique chez un patient à risque intermédiaire dans le but de le reclassifier comme étant à fort risque ;
- qu'il n'est pas recommandé de pratiquer un score calcique chez un patient à bas risque ou à haut risque ;
- qu'il n'est pas nécessaire de pratiquer d'autres tests non invasifs si le score est supérieur à 400. Il suffit de maximaliser le traitement médical.

Il est maintenant démontré que le score calcique, réalisé donc sans injection d'iode et peu irradiant, est un examen qui donne des informations sur la survenue d'événements (décès et infarctus), indépendants des autres facteurs de risque. Il y aurait une relation linéaire entre risque et score calcique. Associé à une ischémie à la scintigraphie ou au PET, il aurait une valeur ajoutée, rendant ces deux examens complémentaires. L'examen n'est cependant pas indiqué de façon systématique en cas de faible ou forte prévalence. Il n'implique pas de faire d'autres examens chez le sujet asymptomatique s'il est élevé mais simplement de renforcer le traitement médical.

Irradiation et scanner

L'augmentation du nombre d'examens scanner amène le médecin à s'inquiéter des conséquences de l'irradiation. En effet, les rayonnements ionisants que sont les rayons X entraînent des agressions des structures cellulaires et notamment de l'acide désoxyribonucléique (ADN), pouvant induire des cancers. La probabilité est d'autant plus grande que la dose d'irradiation est importante, mais elle n'est pas nulle pour les petites doses. L'irradiation se mesure comme étant une énergie d'ionisation absorbée par unité de masse. L'unité de masse est le milligray (J/kg) ou le millisivert (mSv) déterminé par un facteur multiplicateur en fonction de la nature du rayonnement.

Le problème est donc de corréler la dose d'irradiation reçue avec la survenue de cancers. Deux populations permettent de tirer des enseignements : les irradiés de Nagasaki et de Hiroshima d'une part et les travailleurs de l'industrie nucléaire d'autre part [47]. Dans le premier cas, 25 000 sujets ont reçu une dose moyenne de 40 mSv (entre 5 et 150) et dans le deuxième cas, 400 000 sujets ont reçu une dose moyenne de 20 mSv. Ces doses correspondent à la réalisation d'un à quatre scanners. Dans les deux cas, elles semblent corrélées à une augmentation de la survenue de cancers. Il faut de plus tenir compte du fait que ces doses correspondent à une irradiation homogène du corps alors que dans un scanner, celle-ci est localisée.

Ceci cependant est à tempérer car il n'y a aucune étude épidémiologique réalisée à ce jour.

Des méthodes de simulation permettent de calculer le risque encouru. On montre ainsi qu'il serait, pour une femme de 20 ans, de 1/143, de 1/284 à 40 ans et de 1/466 à 60 ans. Chez l'homme, le risque est moindre, 1/686 à 20 ans, ce qui correspond au risque encouru par une femme de 70 ans [48].

Les constructeurs de matériel ont donc cherché à diminuer l'irradiation par des artifices d'acquisition ; on pourrait atteindre des doses inférieures à 10 mSv avec une sensibilité et une spécificité conservées. Ces méthodes sont encore à l'étude [49].

En termes d'irradiation, comment se situe le scanner par rapport aux autres examens à visée diagnostique ? Étant un examen donnant des informations anatomiques, le scanner doit surtout être comparé à la coronarographie [50, 51]. Dans un travail comparatif scanner-angiographie coronaire portant sur 91 patients, la dose moyenne scanner est de 14,7 mSv contre 5,7 mSv pour la coronarographie. De façon globale, un scanner est présenté avec risque de cancer de 1/1 400, une coronarographie avec 1/7 700.

La tendance est donc nettement en faveur d'une irradiation moindre pour la coronarographie. Mais point important, il ne s'agit là que de procédures diagnostiques et il faut garder en mémoire que dans certains cas, elles peuvent être source de procédures invasives plus ou moins justifiées, mais qui ne pourront qu'entraîner une augmentation de l'irradiation. D'autre part, concernant les techniques isotopiques, une scintigraphie au thallium irradie à 20 mSv et une scintigraphie au technétium n'entraîne que 2 mSv à 8 mSv suivant le protocole. À la différence du scanner, il s'agit là de doses corps entier alors que les doses scanner sont localisées à l'organe.

Les autres limitations sont le rythme cardiaque rapide obligeant à injecter des bêtabloquants et il faut considérer qu'un scanner est souvent d'interprétation difficile si la fréquence cardiaque est supérieure à 65/min. Les troubles du rythme sont une contre-indication relative. Enfin bien sûr, il y a les risques connus de l'iode agent de contraste et il faut toujours s'assurer de la fonction rénale et des antécédents d'allergie. Tout ceci doit nous obliger à bien poser nos indications en pesant le rapport bénéfice-risque et ce notamment chez la femme jeune.

Conclusion

Le scanner coronaire est une technique d'imagerie récente en pleine évolution technologique visualisant les artères coronaires, les dépôts calciques et des plaques non calcifiées. Elle cherche à se positionner comme donnant des informations anatomiques

© 2013 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés. - Document téléchargé le 16/11/2013 par UNIVERSITE VICTOR SEGALEN BORDEAUX (14200)

et pronostiques. Anatomiques car elle permet de visualiser d'éventuelles sténoses significatives. Pronostique car le dépôt calcique est le reflet de l'étendue de la plaque athéromateuse et de l'importance de la maladie athéroscléreuse. La plaque non calcifiée est encore mal évaluée sur le plan du risque.

D'une façon générale, le scanner n'est pas indiqué chez le patient à prévalence faible ou forte. Il faut bien distinguer patient symptomatique et patient asymptomatique. L'évaluation du score calcique chez le sujet asymptomatique doit avoir pour objectif de prévoir un événement cardiaque et non pas une ouverture à la réalisation d'un examen pour éliminer ou pas une coronaropathie obstructive. La réalisation d'un angioscanner ne peut être éventuellement indiquée que chez le patient symptomatique. Dans ce cas, un scanner normal a une forte valeur prédictive négative. Il faut tenir compte du fait que les calcifications, qui augmentent significativement avec l'âge, sont un facteur limitant pour la détection des sténoses avec de nombreux faux positifs. Le choix doit être guidé par les avantages procurés par les autres techniques non invasives et notamment par le fait qu'une information fonctionnelle est le maître mot d'une éventuelle décision de revascularisation.

Cet article à fait l'objet d'une prépublication en ligne : l'année du copyright peut donc être antérieure à celle de la mise à jour à laquelle il est intégré.

Références

[1] Agatston AS, Janowitz WR, Hildner FJ. Quantification of coronary artery calcium using ultrafast computed tomography. *J Am Coll Cardiol* 1990;**15**:827-32.

[2] Hoff JA, Chomka EV, Krainik AJ, Daviglus M, Rich S, Kondos GT. Age and gender distribution of coronary artery calcium detected by electron beam tomography in 35 246 adults. *Am J Cardiol* 2001;**87**:1335-9.

[3] Rumberger JA, Simons DB, Fitzpatrick LA, Sheedy PF, Schwartz RS. Coronary artery calcium area by electron-beam computed tomography and coronary atherosclerotic plaque area: a histopathologic correlative study. *Circulation* 1995;**92**:2157-62.

[4] Simons DE, Schwartz RS, Edwards WD. Noninvasive definition of anatomic coronary artery disease by ultrafast computed tomographic scanning: a quantitative pathologic comparison study. *J Am Coll Cardiol* 1992;**20**:1118-26.

[5] Sangiorgi G, Rumberger JA, Severson A. Arterial calcification and not lumen stenosis is highly correlated with atherosclerotic plaque burden in humans: a histologic study of 723 coronary artery segments using nondecalcifying methodology. *J Am Coll Cardiol* 1998;**31**:126-33.

[6] Glagov S, Weisenberg E, Zarins CK, Stankunavicius R, Kolettis GJ. Compensatory enlargment of human atherosclerotic coronary arteries. *N Engl J Med* 1987;**316**:1371-5.

[7] Ambrose JA, Tannenbaum MA, Alexopoulos D. Angiographic progression of coronary artery disease and the development of myocardial infarction. *J Am Coll Cardiol* 1988;**12**:56-62.

[8] O'Rourke RA, Brundage BH, Froelicher VF, Greenland P, Grundy SM, Hachamovitch R, et al. American College of Cardiology/American Heart Association expert consensus document on electron-beam computed tomography for the diagnosis and prognosis of coronary artery disease. *Circulation* 2000;**102**:126-40.

[9] Budoff MJ, Diamond GA, Raggi P. Continuous probabilistic prediction of angiographically significant coronary artery disease using electron beam tomography. *Circulation* 2002;**105**:1791-6.

[10] Haberl R, Becker A, Leber A. Correlation of coronary calcification and angiographically documented stenoses in patients with suspected coronary artery disease: results of 1 764 patients. *J Am Coll Cardiol* 2001;**37**:451-7.

[11] Knez A, Becker A, Leber A. Relation of coronary calcium scores by electron beam computed tomography to obstructive disease in 2 115 symptomatic patients. *Am J Cardiol* 2004;**93**:1150-2.

[12] Greenland P, Bonow RO, Brundage BH. ACCF/AHA 2007 Clinical Expert Consensus document on coronary artery calcium scoring by computed tomography in global cardiovascular risk assessment and in evaluation of patients with chest pain: a report of the American College of Cardiology Foundation Clinical Expert Consensus Task Force (ACCF/AHA Writing Committee to update the 2000 Expert Consensus document on electron beam computed tomography). Developed in collaboration with the society of atherosclerosis imaging and prevention and the society of cardiovascular computed tomography. *J Am Coll Cardiol* 2007;**49**:378-402.

[13] Schroeder S, Kopp AF, Baumbach A. Noninvasive detection and evaluation of atherosclerotic coronary plaques with multislice computed tomography. *J Am Coll Cardiol* 2001;**37**:1430-5.

[14] Achenbach S, Moselewski F, Ropers D. Detection of calcified and noncalcified coronary atherosclerotic plaque by contrast-enhanced, submillimeter multidetector spiral computed tomography: a segment-based comparison with intravascular ultrasound. *Circulation* 2004;**109**:14-7.

[15] Leber AW, Knez A, Becker A, Becker C, von Ziegler F, Nikolaou K, et al. Accuracy of multidetector spiral computed tomography in identifying and differentiating the composition of coronary atherosclerotic plaques: a comparative study with intracoronary ultrasound. *J Am Coll Cardiol* 2004;**43**:1241-7.

[16] Leber AW, Becker A, Knezet A. Accuracy of 64-slice computed tomography to classify and quantify plaque volumes in the proximal coronary system: a comparative study using intravascular ultrasound. *J Am Coll Cardiol* 2006;**47**:672-7.

[17] Pundziute G, Schuijf JD, Wouter Jukema J. Evaluation of plaque characteristics in acute coronary syndromes: non-invasive assessment with multi-slice computed tomography and invasive evaluation with intravascular ultrasound radiofrequency data analysis. *Eur Heart J* 2008;**29**:2373-81.

[18] Hausleiter J, Meyer T, Hadamitzky M, Kastrati A, Martinoff S, Schömig A. Prevalence of noncalcified coronary plaques by 64-slice computed tomography in patients with an intermediate risk for significant coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 2006;**48**:312-8.

[19] Henneman MM, Schuijf JD, Pundziute G. Noninvasive evaluation with multislice computed tomography in suspected acute coronary syndrome: plaque morphology on multislice computed tomography versus coronary calcium score. *J Am Coll Cardiol* 2008;**52**:216-22.

[20] Matthew J. Budoff prevalence of soft plaque detection with computed tomography. *J Am Coll Cardiol* 2006;**48**:319-21.

[21] Taylor AJ, Bindeman J, Feuerstein I, Cao F, Brazaitis M, O'Malley PG. Coronary calcium independently predicts incident premature coronary heart disease over measured cardiovascular risk factors: mean three-year outcomes in the prospective army coronary calcium (PACC) project. *J Am Coll Cardiol* 2005;**46**:807-14.

[22] Hamon M, Biondi-Zoccai GG, Malagutti P, Agostoni P, Morello R, Valgimigli M, et al. Diagnostic performance of multislice spiral computed tomography of coronary arteries as compared with conventional invasive coronary angiography: a meta-analysis. *J Am Coll Cardiol* 2006;**48**:1896-910.

[23] Garcia MJ, Lessick J, Hoffmann MH. for the CATSCAN Study investigators accuracy of 16-row multidetector computed tomography for the assessment of coronary artery stenosis. *JAMA* 2006;**296**:403-11.

[24] Miller JM, Rochitte CE, Dewey M, Arbab-Zadeh A, Niinuma H, Gottlieb I, et al. Diagnostic performance of coronary angiography by 64-row CT. *N Engl J Med* 2008;**359**:2324-36.

[25] Meijboom WB, Meijs MF, Schuijf JD, Cramer MJ, Mollet NR, van Mieghem CA, et al. Diagnostic accuracy of 64-slice computed tomography coronary angiography: a prospective, multicenter, multivendor study. *J Am Coll Cardiol* 2008;**52**:2135-44.

[26] Budoff MJ, Dowe D, Jollis JG, Gitter M, Sutherland J, Halamert E, et al. Diagnostic performance of 64-multidetector row coronary computed tomographic angiography for evaluation of coronary artery stenosis in individuals without known coronary artery disease: results from the prospective multicenter ACCURACY (Assessment by Coronary Computed Tomographic Angiography of Individuals Undergoing Invasive Coronary Angiography) trial. *J Am Coll Cardiol* 2008;**52**:1724-32.

[27] Topol EJ, Nissen SE. Our preoccupation with coronary luminology: the dissociation between clinical and angiographic findings in ischemic heart disease. *Circulation* 1995;**92**:2333-42.

© 2013 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés. - Document téléchargé le 16/11/2013 par UNIVERSITE VICTOR SEGALEN BORDEAUX (14200)

[28] Bluemke DA, Achenbach S, Budoff M, Gerber TC, Gersh B, Hillis LD, et al. Non invasive coronary artery imaging: magnetic resonance angiography and multidetector computed tomography angiography: a scientific statement from the American Heart Association committee on cardiovascular imaging and intervention of the council on cardiovascular cardiology and intervention, and the councils on clinical cardiology and cardiovascular disease in the young. *Circulation* 2008; **118**:586-606.

[29] Min JK, Shaw LJ, Devereux RB. Prognostic value of multidetector coronary computed tomographic angiography for prediction of all-cause mortality. *J Am Coll Cardiol* 2007;**50**:1161-70.

[30] Ostrom MP, Gopal A, Ahmadi N, Nasir K, Yang E, Kakadiaris I, et al. Mortality incidence and the severity of coronary atherosclerosis assessed by computed tomography angiography. *J Am Coll Cardiol* 2008;**52**:1335-43.

[31] Schuijf JD, Wijns W, Jukema JW, Atsma DE, de Roos A, Lamb HJ, et al. Relationship between noninvasive coronary angiography with multi-slice computed tomography and myocardial perfusion imaging. *J Am Coll Cardiol* 2006;**48**:2508-14.

[32] Rispler S, Keidar Z, Ghersin E. Roguin A. Integrated single-photon emission computed tomography and computed tomography coronary angiography for the assessment of hemodynamically significant coronary artery lesions. *J Am Coll Cardiol* 2007;**49**:1059-67.

[33] Arad Y, Goodman KJ, Roth M. Coronary calcification, coronary disease risk factors, c-reactive protein, and atherosclerotic cardiovascular disease events: the St. Francis Heart study. *J Am Coll Cardiol* 2005;**46**: 158-65.

[34] LaMonte MJ, FitzGerald SJ, Church TS. Coronary artery calcium score and coronary heart disease events in a large cohort of asymptomatic men and women. *Am J Epidemiol* 2005;**162**:421-9.

[35] Greenland P, LaBree L, Azen SP. Coronary artery calcium score combined with Framingham score for risk prediction in asymptomatic individuals. *JAMA* 2004;**291**:210-5.

[36] Budoff MJ, Shaw LJ, Liu ST. Long-term prognosis associated with coronary calcification: observations from a registry of 25 253 patients. *J Am Coll Cardiol* 2007;**49**:1860-70.

[37] Mieres JH, Shaw LJ, Arai A, Budoff MJ. Role of noninvasive testing in the clinical evaluation of women with suspected coronary artery disease: consensus statement from the Cardiac Imaging Committee, Council on Clinical Cardiology, and the Cardiovascular Imaging and Intervention Committee, Council on Cardiovascular Radiology and Intervention, American Heart Association. *Circulation* 2005;**111**: 682-96.

[38] Raggi P, Shaw LJ, Berman DS, Callister TQ. Prognostic value of coronary artery calcium screening in subjects with and without diabetes. *J Am Coll Cardiol* 2004;**43**:1663-9.

[39] Anand DV, Lim E, Hopkins D, Corder R, Shaw LJ, Sharp P, et al. Risk stratification in uncomplicated type 2 diabetes: prospective evaluation of the combined use of coronary artery calcium imaging and selective myocardial perfusion scintigraphy. *Eur Heart J* 2006;**27**:713-21.

[40] Achenbach S, Ropers D, Pohle K. Influence of lipid-lowering therapy on the progression of coronary artery calcification: a prospective evaluation. *Circulation* 2002;**106**:1077-82.

[41] Raggi P, Davidson M, Callister TQ, Welty FK. Aggressive versus moderate lipid-lowering therapy in hypercholesterolemic postmenopausal women: beyond endorsed lipid lowering with EBT scanning (BELLES). *Circulation* 2005;**112**:563-71.

[42] Arad Y, Spadaro LA, Roth M, Newstein D, Guerci AD. Treatment of asymptomatic adults with elevated coronary calcium scores with atorvastatin, vitamin C, and vitamin E: the St. Francis Heart Study randomized clinical trial. *J Am Coll Cardiol* 2005;**46**: 166-72.

[43] Schmermund A, Achenbach S, Budde T, Buziashvili Y. Effect of intensive versus standard lipid-lowering treatment with atorvastatin on the progression of calcified coronary atherosclerosis over 12 months: a multicenter, randomized, double-blind trial. *Circulation* 2006;**113**: 427-37.

[44] Rozanski A, Gransar H, Wong ND. Clinical outcomes after both coronary calcium scanning and exercise myocardial perfusion scintigraphy. *J Am Coll Cardiol* 2007;**49**:1352-61.

[45] Ramakrishna G, Miller TD, Breen JF, Araoz PA. Relationship and prognostic value of coronary artery calcification by electron beam computed tomography to stress-induced ischemia by single photon emission computed tomography. *Am Heart J* 2007; **153**:807-14.

[46] Schenker MP, Dorbala S, Hong EC, Rybicki FJ, Hachamovitch R, Kwong RY, et al. Interrelation of coronary calcification, myocardial ischemia, and outcomes in patients with intermediate likelihood of coronary artery disease: a combined positron emission tomography/computed tomography study. *Circulation* 2008;**117**: 1693-700.

[47] Brenner DJ, Hall EJ. Computed tomography-An increasing source of radiation exposure. *N Engl J Med* 2007;**357**:2277-84.

[48] Einstein AJ, Henzlova MJ, Rajagopalan S. Estimating risk of cancer associated with radiation exposure from 64-slice computed tomography coronary angiography. *JAMA* 2007;**298**: 317-23.

[49] Maruyama T, Takada M, Hasuike T, Yoshikawa A, Namimatsu E, Yoshizumi T. Radiation dose reduction and coronary assess ability of prospective electrocardiogram-gated computed tomography coronary angiography: comparison with retrospective electrocardiogram-gated helical scan. *J Am Coll Cardiol* 2008;**52**:1450-5.

[50] Coles DR, Smail MA, Negus IS, Wilde P, Oberhoff M, Karsch KR, et al. Comparison of radiation doses from multislice computed tomography coronary angiography and conventional diagnostic angiography. *J Am Coll Cardiol* 2006;**47**:1840-5.

[51] Wilde P, Pitcher EM, Slack K. Radiation hazards for the patient in cardiological procedures. *Heart* 2001;**85**:127-30.

M. Levy (levymaurice@wanadoo.fr).
Hôpital européen de Paris La Roseraie, Villa Maria, 120, avenue de la République, 93308 Aubervilliers, France.

Toute référence à cet article doit porter la mention : Levy M. Scanner coronaire. Intérêt de la détection des calcifications coronaires et des sténoses coronaires. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Cardiologie, 11-002-A-57, 2010.

Disponibles sur www.em-consulte.com

Arbres décisionnels | Iconographies supplémentaires | Vidéos / Animations | Documents légaux | Information au patient | Informations supplémentaires | Auto-évaluations | Cas clinique

© 2013 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés. - Document téléchargé le 16/11/2013 par UNIVERSITE VICTOR SEGALEN BORDEAUX (14200)

Cet article comporte également le contenu multimédia suivant, accessible en ligne sur em-consulte.com et em-premium.com :

1 autoévaluation

Cliquez ici

© 2013 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés. - Document téléchargé le 16/11/2013 par UNIVERSITE VICTOR SEGALEN BORDEAUX (14200)